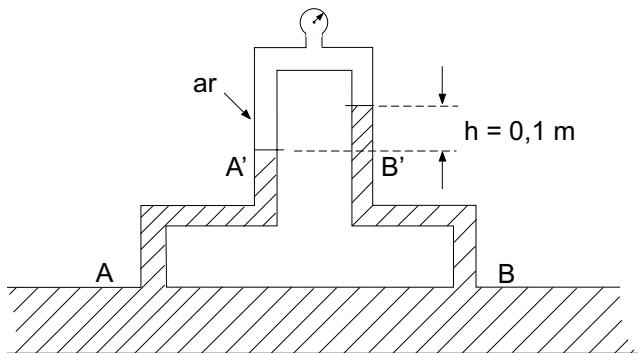


**Questão nº 1**

**Padrão de Resposta Esperado:**



a)  $\Delta P_{AB} = \Delta P_{A'B'}$

Sendo  $\rho_{\text{água}} \gg \rho_{\text{ar}}$ :

Em B':  $P_{B'} = (\rho_{\text{água}} \cdot g) h + P_{A'} \Rightarrow \Delta P_{A'B'} = P_{B'} - P_{A'} = 1.000 \times 9,8 \times 0,1 = 980 \text{ Pa}$

**(valor: 2,5 pontos)**

b)  $P_{\text{ar}} = P_{\text{man}} = 10^4 \text{ Pa}$

Em termos absolutos:  $P_{\text{ar}} = P_{\text{man}} + P_{\text{atm}} = 10^4 + 10^5 = 1,1 \times 10^5 \text{ Pa}$

**(valor: 2,5 pontos)**

c) Sim, pois o diferencial de pressão é causado pela perda de carga que aumenta com o aumento da vazão. Ressalte-se que a precisão desta medida pode não ser a desejada, se a distância entre A e B for pequena. **(valor: 2,5 pontos)**

d)  $B \Rightarrow A$ .

**(valor: 2,5 pontos)**

**Questão nº 2**

**Padrão de Resposta Esperado:**

- Lei de Henry simplificada

$$p_{\text{CO}_2} = H_{\text{CO}_2} \cdot x_{\text{CO}_2} \Rightarrow x_{\text{CO}_2} = \frac{p_{\text{CO}_2}}{H_{\text{CO}_2}} \quad (1) \quad (\text{valor: 2,5 pontos})$$

- Hidrocarboneto é não-volátil

$$P = p_{\text{CO}_2} = 5 \times 10^6 \text{ Pa} \Rightarrow x_{\text{CO}_2} = \frac{5 \times 10^6}{H_{\text{CO}_2}} \quad (2) \quad (\text{valor: 2,5 pontos})$$

- Cálculo da Constante de Henry  $H_{\text{CO}_2}$

Usando os dados de laboratório:

$$H_{\text{CO}_2} = \frac{10^5}{5 \times 10^{-3}} = 2 \times 10^7 \text{ Pa} \quad (3) \quad (\text{valor: 2,5 pontos})$$

- Cálculo da solubilidade

Substituindo-se (3) em (2):

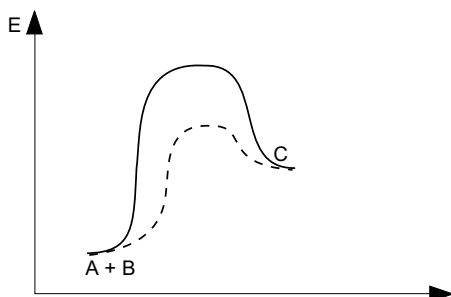
$$x_{\text{CO}_2} = \frac{5 \times 10^6}{2 \times 10^7} = 0,25 \quad (\text{valor: 2,5 pontos})$$

**Questão nº 3**

**Padrão de Resposta Esperado:**

- a) Da figura:  $E_C - E_{A+B} > 0$ ; como  $E_C - E_{A+B} = \Delta H_R$ , conclui-se que a reação é endotérmica. (valor: 5,0 pontos)

- b) Na figura abaixo, a representação gráfica para a reação catalisada é a curva tracejada, uma vez que o catalisador diminui a energia de ativação. (valor: 5,0 pontos)



**Questão nº 4**

**Padrão de Resposta Esperado:**

a)

- Vazão do concentrado:

Do balanço de sólidos no interior do evaporador:

$$\dot{m}_s \cdot x_s = \dot{m}_c \cdot x_c \Rightarrow 2,0 \times 0,1 = \dot{m}_c \cdot 0,5 \Rightarrow \dot{m}_c = 0,4 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

s: solução; c: concentrado

- Vazão do evaporado:

Do balanço de massa global no interior do evaporador:

$$\dot{m}_s = \dot{m}_c + \dot{m}_e \Rightarrow \dot{m}_e = 2,0 - 0,4 = 1,6 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

**(valor: 3,0 pontos)**

- Como não há elevação do ponto de ebulição e o evaporado encontra-se em equilíbrio com a solução em ebulição, as temperaturas das correntes de evaporado e de concentrado são iguais a 51°C.

**(valor: 2,0 pontos)**

b) A temperatura do concentrado aumenta, pois aumenta a temperatura da solução em ebulição no interior do equipamento. A concentração de soluto no concentrado será menor, pois a taxa de transferência de calor através do sistema de aquecimento será menor [produto (U A) permanece constante, mas o diferencial efetivo ( $T_v - T_c$ ) diminui]. Assim, a quantidade de calor transferida para evaporar o solvente diminui, gerando um produto menos concentrado.

**(valor: 4,0 pontos)**

c) O desempenho do evaporador pode ser aumentado com qualquer um dos seguintes procedimentos:

- utilização de um sistema múltiplo efeito;
- aquecimento da solução antes de sua alimentação no evaporador, utilizando a corrente de evaporado como fonte de energia;
- aquecimento da solução antes de sua alimentação no evaporador, utilizando a corrente de concentrado como fonte de energia;
- redução da pressão operacional do evaporador.

**(valor: 1,0 ponto)**

**Questão nº 5**

**Padrão de Resposta Esperado:**

a) Em cada um dos três sistemas temos que  $-\Delta C_A = \Delta C_P = -2\Delta C_B$ . Portanto, os coeficientes estequiométricos são  $a = p = 2b$ .

**(valor: 4,0 pontos)**

b) Nos sistemas 1 e 3, os reagentes A e B estão em proporções estequiométricas, pois, em qualquer instante,  $C_A / C_B = C_{A0} / C_{B0} = 2$ . No sistema 2 o reagente A está em excesso, pois após iniciada a reação,  $C_A / C_B > 2$ .

**(valor: 3,0 pontos)**

c) Nas condições operacionais apresentadas e considerando atingido o regime estacionário, a reação representada no sistema 3 pode ser considerada reversível, já que nenhum reagente é consumido totalmente.

**(valor: 3,0 pontos)**

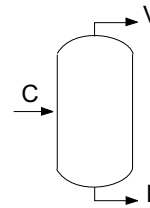
**Questão nº 6**

**Padrão de Resposta Esperado:**

a) Balanço de energia no tambor de "flash":

$$C = V + L = 4.000 \text{ kg h}^{-1} \quad \text{ou} \quad L = 4.000 - V \quad (1)$$

$$C.H_c = V.H_v + L.H_L \quad (2)$$



(valor: 2,0 pontos)

Da tabela de vapor saturado, obtêm-se os valores das entalpias para as pressões indicadas na entrada e na saída do tambor de "flash":

$$P_c = 8 \times 10^5 + 1 \times 10^5 = 9 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_v = 2 \times 10^5 + 1 \times 10^5 = 3 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$H_c = 742,83 \text{ kJ kg}^{-1}$$

$$H_v = 2.725,3 \text{ kJ kg}^{-1}$$

$$H_L = 561,47 \text{ kJ kg}^{-1}$$

(valor: 3,0 pontos)

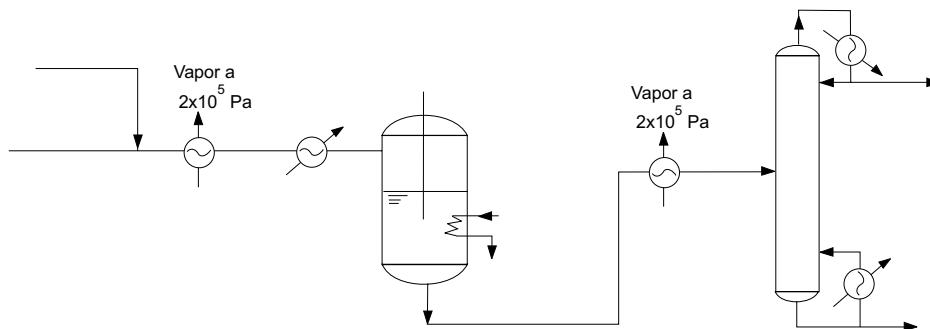
Substituindo-se os valores acima na equação (2), juntamente com a relação (1):

$$742,83 \times 4.000 = 2.725,3 V + 561,47 (4.000 - V) \quad \text{ou} \quad V = 335,3 \text{ kg h}^{-1}$$

(valor: 2,0 pontos)

b) O vapor de baixa pressão poderá ser empregado no pré-aquecimento dos reagentes na alimentação do reator e no pré-aquecimento da alimentação da coluna de destilação. Desse modo, uma eventual falha na vazão desse vapor não acarretará qualquer alteração no estado estacionário do processo, porque o sistema de troca térmica já colocado suprirá as necessidades energéticas do processo.

(valor: 3,0 pontos)



**Questão nº 7**

**Padrão de Resposta Esperado:**

Os valores de  $u_{mf}$  podem ser calculados desprezando-se  $\rho$  face a  $\rho_s$

$$u_{mf_1} \cong \frac{(1,00 \times 10^{-4})^2 (3 \times 10^3)(9,8)}{(1.650)(1,8 \times 10^{-5})} = 9,90 \times 10^{-3} \text{ m/s} \quad (\text{valor: 2,0 pontos})$$

$$Re_{mf_1} = \frac{(1,00 \times 10^{-4})(9,90 \times 10^{-3})(1,2)}{(1,8 \times 10^{-5})} = 0,066 < 20 \Rightarrow \text{ok}$$

$$u_{f_1} = 3u_{mf_1} = 29,7 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$u_{mf_2} \cong \frac{(1,25 \times 10^{-4})^2 (3 \times 10^3)(9,8)}{(1.650)(1,8 \times 10^{-5})} = 15,5 \times 10^{-3} \text{ m/s} \quad (\text{valor: 2,0 pontos})$$

$$Re_{mf_2} = \frac{(1,25 \times 10^{-4})(15,5 \times 10^{-3})(1,2)}{(1,8 \times 10^{-5})} = 0,129 < 20 \Rightarrow \text{ok}$$

$$u_{f_2} = u_{f_1} = 29,7 \times 10^{-3} \text{ m/s} \quad (\text{valor: 2,0 pontos})$$

Como  $u_{f_2} > u_{mf_2} \Rightarrow$  não há risco de desfluidização. (valor: 4,0 pontos)

**Outra alternativa de resposta**

Tendo em vista que

$$u_{mf} \propto D_p^2 (\rho_s - \rho)$$

$\rho_s \gg \rho$  (fluidização a gás)

$$u_{mf} \propto D_p^2 \rho_s$$

Pelo enunciado

$$u_{f_1} = 3u_{mf_1} \propto 3 D_{p_1}^2 \rho_{s_1} \quad (\text{valor: 2,0 pontos})$$

$$u_{f_2} = u_{f_1} = 29,7 \times 10^{-3} \text{ m/s} \quad (\text{valor: 2,0 pontos})$$

Como a vazão de gás é a mesma nos dois casos

$$u_{f_1} = u_{f_2}$$

(valor: 3,0 pontos)

$$(3)(10^{-4})^2 (2,5 \times 10^3) = n(1,25 \times 10^{-4})(3 \times 10^3) \therefore n = 1,6$$

Portanto,

$$\frac{u_{f_2}}{u_{mf_2}} = 1,6 \quad \text{não havendo risco de desfluidização do leito.}$$

(valor: 3,0 pontos)

**Observação:**

Para mostrar que  $Re_{p,mf} < 20$  (restrição da correlação de Wen e Yu) é necessário calcular o valor de  $u_{mf}$ , o que será feito para o caso mais desfavorável:  $D_p = 0,125 \text{ mm}$  e  $\rho_s = 3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ .

$$u_{mf_2} \cong \frac{(1,25 \times 10^{-4})^2 (3 \times 10^3)(9,8)}{(1,650)(1,8 \times 10^{-5})} = 1,54 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$$

$$Re_{mf_2} \cong \frac{(1,25 \times 10^{-4})(1,54 \times 10^{-2})(1,2)}{1,8 \times 10^{-5}} = 0,129 < 20$$

**Questão nº 8**

**Padrão de Resposta Esperado:**

Hipótese a  $A \xrightarrow{k_1} R$ ;  $r/a = 1$

Sendo  $\alpha$  a fração de  $F_{A0}$  dirigida ao reator 1 e  $(1 - \alpha)$  a fração dirigida ao reator 2:

$$F_R = F_{A0} \alpha X_{A1} + F_{A0} (1 - \alpha) X_{A2}$$

A produção máxima é obtida por:

$$\frac{dF_R}{d\alpha} = 0$$

$$F_{A0} X_{A1} - F_{A0} X_{A2} = 0 \Rightarrow X_{A1} = X_{A2}$$

$$\frac{V_1}{F_{A0} \alpha} = \frac{X_{A1}}{(-r_{A1})} ; \frac{V_2}{F_{A0} (1 - \alpha)} = \frac{X_{A2}}{(-r_{A2})}$$

$$\text{Como } X_{A1} = X_{A2} \Rightarrow (-r_{A1}) = (-r_{A2}) \Rightarrow \tau_1 = \tau_2$$

Como  $\tau_i = V_i/v_i$  e  $v_o = v_1 + v_2 = 4 \text{ L h}^{-1}$ , então  $V_1/v_1 = V_2/v_2$  e  $6/v_2 = 2/(4 - v_2)$ .

Portanto  $v_2 = 3 \text{ L h}^{-1}$  (e  $v_1 = 1 \text{ L h}^{-1}$ ).

**(valor: 5,0 pontos)**

Da equação do reator de mistura, tem-se, para o reator 2, que:

$$\frac{V_2}{C_{A0} v_2} = \frac{X_A}{k_1 C_{A0} (1 - X_A)} \Rightarrow \frac{6}{20 \times 3} = \frac{X_A}{0,5 \times 20 (1 - X_A)} \Rightarrow X_A = 0,5$$

**(valor: 2,0 pontos)**

$$F_R = F_{A0} X_A = v_o C_{A0} X_A = 4 \times 20 \times 0,5 \Rightarrow F_R = 40 \text{ gh}^{-1}$$

**(valor: 3,0 pontos)**

**Questão nº 9****Padrão de Resposta Esperado:**

a) Da figura:

$$L_c = L + t/2 = 0,15 + 0,01/2 = 0,155 \text{ m}$$

$$A_p = L_c \cdot t = 0,155 \times 0,01 = 1,55 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$L_c^{3/2} \left( \frac{h}{K_{A1} \cdot A_p} \right)^{1/2} = (0,155)^{3/2} \left( \frac{40}{170 \times 1,55 \times 10^{-3}} \right)^{1/2} = 0,75$$

A partir do gráfico:  $\eta = 75\%$ **(valor: 4,0 pontos)**

Então, utilizando a definição de eficiência:

$$q_{\text{ef}} = \frac{\eta q_{\text{max}}}{100} = \frac{\eta}{100} (h (2ZL + tZ) (T_s - T_\infty))$$

$$\frac{q_{\text{ef}}}{Z} = \frac{75}{100} (40(2 \times 0,15 + 0,01)(150 - 25)) = 1.162,5 \text{ W m}^{-1}$$

**(valor: 4,0 pontos)**

Ou, utilizando o conceito de comprimento corrigido:

$$q_{\text{ef}} = \frac{\eta}{100} (h (2ZL_c) (T_s - T_\infty))$$

$$\frac{q_{\text{ef}}}{Z} = \frac{75}{100} (40(2 \times 0,155)(150 - 25)) = 1.162,5 \text{ W m}^{-1}$$

b) O modelo unidimensional é utilizado com base na hipótese de que a resistência térmica condutiva na direção y é muito pequena quando comparada à da direção x. **(valor: 2,0 pontos)**

**Questão nº 10**

**Padrão de Resposta Esperado:**

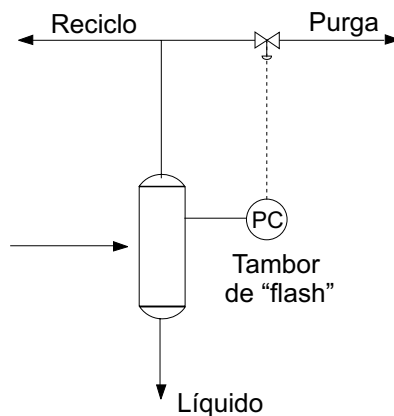
As respostas consideram que todo o  $\text{CH}_4$  alimentado ao processo com o hidrogênio deverá deixar o processo pela purga.

a) Parâmetros que interferem na otimização econômica do processo:

- composição do reciclo: quanto maior a concentração do gás inerte ( $\text{CH}_4$ ) em relação ao hidrogênio no reciclo, menor será a vazão da purga requerida, reduzindo a quantidade de hidrogênio perdida; **(valor: 3,0 pontos)**
- vazão do reciclo: quanto maior a vazão do reciclo, maior será o dispêndio de energia na operação de recompressão e reaquecimento da carga do reator. **(valor: 3,0 pontos)**

A otimização será alcançada comparando-se o custo do hidrogênio perdido na purga com o custo de recompressão e reaquecimento do reciclo. **(valor: 1,0 ponto)**

b) A pressão na descarga do tambor de "flash" poderá ser controlada por uma válvula que regule a vazão de descarga na purga:



**(valor: 3,0 pontos)**